養液栽培技術講習會專刊　第二輯　17～43, 1989

國內外各種養液栽培法特性之比較

高　德　錚*

一、前　言

養液栽培（nutriculture, solution culture）或水耕栽培（hydroponics）是無土栽培（soil-less cuture）的方式之一，從1930年代美國加州大學Gericke教授首創礫耕技術成功地栽種番茄後，世界各地已普遍地利用養液栽培技術來解決設施土耕栽培遭遇的困境，及生產無農藥污染的清潔蔬菜。與土耕栽培法相比，養液栽培法之優點為(1)無土壤之連作障礙困擾，(2)較省勞力及勞動量，(3)具週年生產性，(4)產量穩定，品質均一及(5)較不受天候影響。

本省養液栽培的發展較遲，於民國七十五年三月間位於埔里的台糖副產加工廠首先引用台中區農業改良場開發的第Ⅱ代水耕技術，以1580㎡之土地面積構築了本省的第一座水耕農場；同年六月間，位於彰化縣埤頭鄉的台糖溪湖糖廠，則採用台中區農業改良場開發的第Ⅲ代水耕技術以1280㎡之土地面積構築第二座水耕農場。俟同年底台中區農業改良場完成一套適合熱帶地區的動態浮根式水耕栽培系統（DRF system）後，至民國七十七年底，全省各地DRF水耕系統試作農戶約有20人，總栽培面積達3.0公頃。而位於鳳山的鳳山熱帶園藝試驗分所，其沿用日本山崎肯哉博士的浮根式水耕技術所開發的浮根式水耕系統，在民國七十六～七十七年間亦有0.3公頃的試作面積，再者政府的試驗場所或民營企業等分別由日本或美國整場輸入的NFT或，M式，みかどNFT式，Mist Spray式，新和等量交換式及Hyponica等等水耕農場亦有0.5公頃左右。甚至亦有先進的農民在觀摩台中場及鳳山所的水耕系統後自行構築的水耕農場，在近二年間亦有1公頃左右的栽種記錄。換言之，至民國七十七年底全省各地水耕栽作農場大約有5公頃之譜。以一項政府試驗場所正在評估其栽培成效而尚未列入推廣的農技，能獲得社會各界的重視，固然值得欣喜；唯兩年來筆者由部份自行構築的水耕農場及國外整場輸入的水耕農場發現，每年五月至十月間，水耕蔬菜生育緩慢、根系褐化、葉片軟化、徒長、葉色淡黃、病蟲害癥狀繁雜，導致經濟效益反低於露地土耕栽培者，甚至颱風來襲整個水耕設施被夷為平地，損失慘重。

因之，本文之重點將著重於由如何構築適合本省氣候環境的養液設施的觀點來比較國內外各型養液栽培系統之特性。按根據筆者之經驗，一套適合本省氣候環境的養液設施必需具備的條件，依其重要性分別為(1)設施必需具抗颱風性，(2)通風性佳，盛夏之際設施內外幾無溫差，(3)栽培床具隔熱保溫的效果，(4)養液在無需強制通氣下溶氧量仍高達6ppm，(5)具有誘引氣根（aero-root）的設計，(6)操作簡便再使用性高，(7)可避免青苔之污染，(8)具週年生產性，(9)投資成本回收年限較短，(10)設施成本合理。

二、養液栽培之分類

在傳統的農業生產過程中，土壤與植物乃建立在固持與營養的關係上，植物體經由根系伸長而固持於土面上，而且經由根系之吸收作用，將土壤中之水分及無機養分運送至地上部，以供植

* 台中區農業改良場副研究員

物生長發育之用。而所謂養液栽培者，既然為一種不用土壤為栽培介質的無土栽培法，因之，必需人為地提供栽培介質（medium）及營養液（nutrient）以為植物生長發育之用。

養液栽培的種類可依栽培介質固形狀之有無分成固形介質栽培方式及非固形介質栽培方式兩種。換言之，在固形介質栽培方式中植物根部係固持於固形介質中；而在非固形介質栽培方式中，則植物根系曝露於濕空氣中或浸潤於養液中。一般常用之固形介質有砂、石礫、稻殼、炭化稻殼、發泡海綿、蛭石、珍珠石、發泡煉石、化學合成纖維、泥炭土苔（peat-moss）、木屑、樹皮、果殼纖維、岩綿（rockwool）及不織布（non-woven cloth）等等。非固形介質栽培方式則可依養液之供給方式及栽培床中殘留養液之多寡分類之。若栽培床中殘餘量通常為8～15公分者稱為湛水式（deep flow technique, DFT），反之僅餘1～3公分者稱之淺水式；若依供液方式之別則可細分成流灌式、噴灌式及噴灌及流灌混合式等四種。又在噴灌方式中養液若以霧狀（mist）方式噴出時，又稱之噴霧耕（mist spray）。進一步地若依養液之回收與否，又可分成養液循環式及非循環式兩種。故在下列養液栽培之分類方式係依介質之種類及供液方式詳述之。圖一即為養液栽培之分類簡索。

- 養液栽培
  - 固形介質栽培方式
    - 無機介質
      - 天然礦石（石礫、砂）（照片一）
      - 加工礦石（發泡煉石、蛭石、珍珠石）
      - 礦　　纖（岩綿）
      - 化　　纖（不織布、發泡海綿）
      - 炭化稻殼（薰炭）
    - 有機介質
      - 泥炭土苔
      - 木　　屑
      - 樹皮、植纖（蛇木、水草）
      - 果殼（椰子、稻殼）（照片二）
  - 無固形介質栽培方式
    - 湛 水 式
      - 養液循環（液面上下供水式、流灌式、自然通風式、強制混氣式）
      - 養液不循環（浮根式、毛管浮根式）
    - 淺 水 式
      - 養液循環（NFT、噴霧水耕）
      - 養液不循環（滴灌式、噴霧耕

圖一　養液栽培之分類

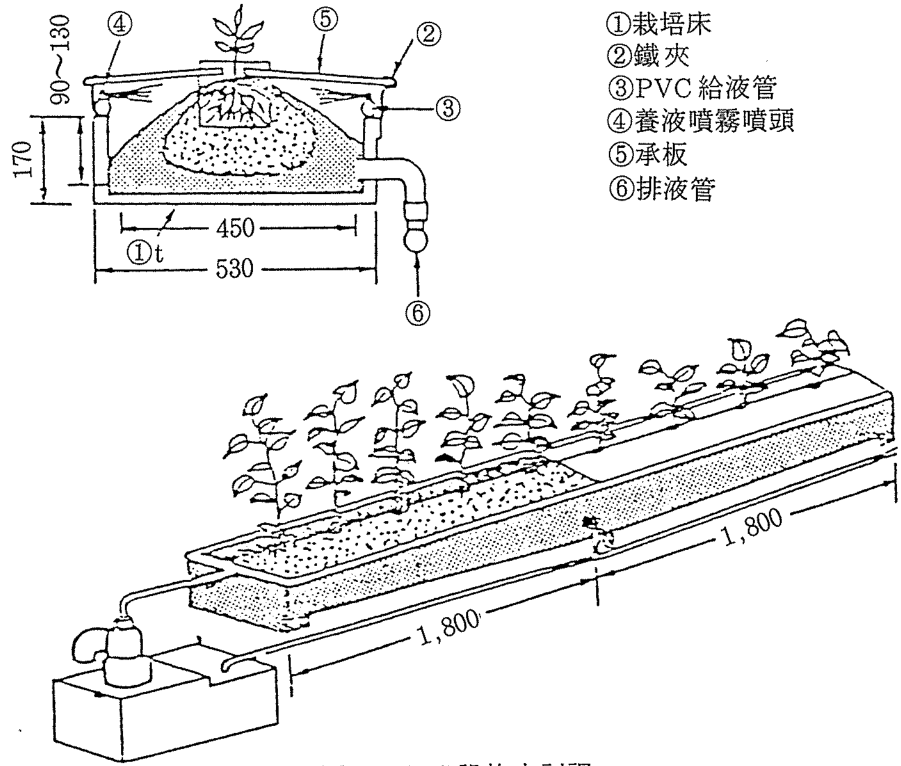
三、各種養液栽作方式之優劣

在養液栽培之演化過程中，大致上由固形介質之栽培方式演變至非固形介質之水耕栽培方式，但1980年代以後，由於岩綿栽培法之開發成功，以荷蘭之花卉及番茄、胡瓜等果菜栽培為例，卻又大量的採用岩綿滴灌法。因之，固形介質栽培方式與非固形介質栽培方式間之優劣性應從設置經費栽培系統及栽培技術等三方面分別探討之。

四、商業化養液栽培系統之特性

㈠SPS式礫耕

1.栽培設施（圖二）



圖二　SPS設施之剖視

其規格如下：

(1)栽培床：保利龍製，規格為長180㎝、寬53㎝及高90～130㎝、斜度2.2／100，每1000㎡配置254床。

(2)防漏塑膠布：PE材質，厚0.1㎜　2層。每1000㎡需3000㎡裝置。

(3)抽水幫浦：自吸式，3.7kw，50A，1台

(4)給液管：PVC材質每1000㎡需230支，每支長度4m。

(5)噴頭：黃銅製，出水量0.7ℓ／min，0.5kg／㎝²（末端每1000㎡需1830個）

表一　不同栽培介質對養液栽培方式之影響

項　　目	非固形介質栽培方式	固形介質栽培方式
經　　費	1.設置初期栽培系統購買費用較高。	部分系統可自行構築，初期設備費較高。
	2.除了育苗用介質外無需其他栽培介質。	除了砂、礫耕可以數年換一次外其餘固體介質需經常購買。
	3.抽水幫浦動作時間長，電氣費用高。	抽水幫浦動作時間比水耕短。
栽培系統	1.需利用地下養液槽作為養液交換循環之中繼站，因之養液槽與栽培面積間需有一定比例。	養液循環系統簡略化大致利用自然落差。
	2.養液在栽培系統，必需在完全閉鎖（黑暗中）流動。	養液在栽培系統中大致開放露於空氣中或不回收。
	3.栽培系統之複作性（年栽培次數）高。	除了袋形耕外，年複作次數較少。
	4.立體化栽培計畫上較困難。	袋形耕可立體化栽培。
栽培技術	1.若養液中帶有病菌，則全栽培系統中之植株極易傳染。	若採用養液不循環之滴灌方式則無此弊端。
	2.養液之 pH 及 EC 之調節容易。	介質會干擾養液之 pH 及 EC 值。
	3.根溫之變動較大。	根溫之變動較小。
	4.根系空氣與養液間緩衝能力差。	介質可增加根系與空氣或養液之接觸面。
	5.養液之施用量不用調節。	若採用滴灌法則每日之滴灌量需隨栽培季節氣溫高低或植株之生育別而定。
	6.可連續栽作，前後作間之殘株處理容易。	殘株處理較困難。
	7.栽培設施之殺菌消毒容易。	介質之殺菌、消毒過程較難且費用較高。
	8.養液可長期使用不用時可當一般肥料用於田間。	廢棄之介質處理困難
	9.適合葉菜類栽培。	適合果菜類栽培。

(6)栽培承板：保利龍製，長180cm，寬30cm，厚1.5cm。

(7)栽培介質：天然輕石，比重0.6，pH值7.8，將之以山坡狀排列在栽培床內。

2.供液系統（圖二）

採養液循環回收之噴霧式，以定時器自動啟動抽水幫浦，每日噴霧2～8次，多餘之養液由排液管流回地下養液槽。

3.栽植方式

育苗箱中，採用育苗移植式，首先將種子播於內置直徑3～5㎝輕石之水稻用，待發芽子葉展開後再移入有引育苗缽中進行假植，俟幼苗本葉達4～5枚時，即可直接移入栽培床中，之後再將保利龍板覆之。

4.SPS式之優缺點

⑴比一般礫耕具連作性。

⑵養液管理可自動化。

⑶植物根系之通氣性良好。

⑷可避免栽培介質之鹽類蓄積。

⑸栽培介質與土壤接近，吸水性佳，比一般水耕較不怕停電，對養液成分之緩衝性較水耕好。

⑹抽水幫浦動作時間短且省能源性。

⑺前作殘根不易清除。

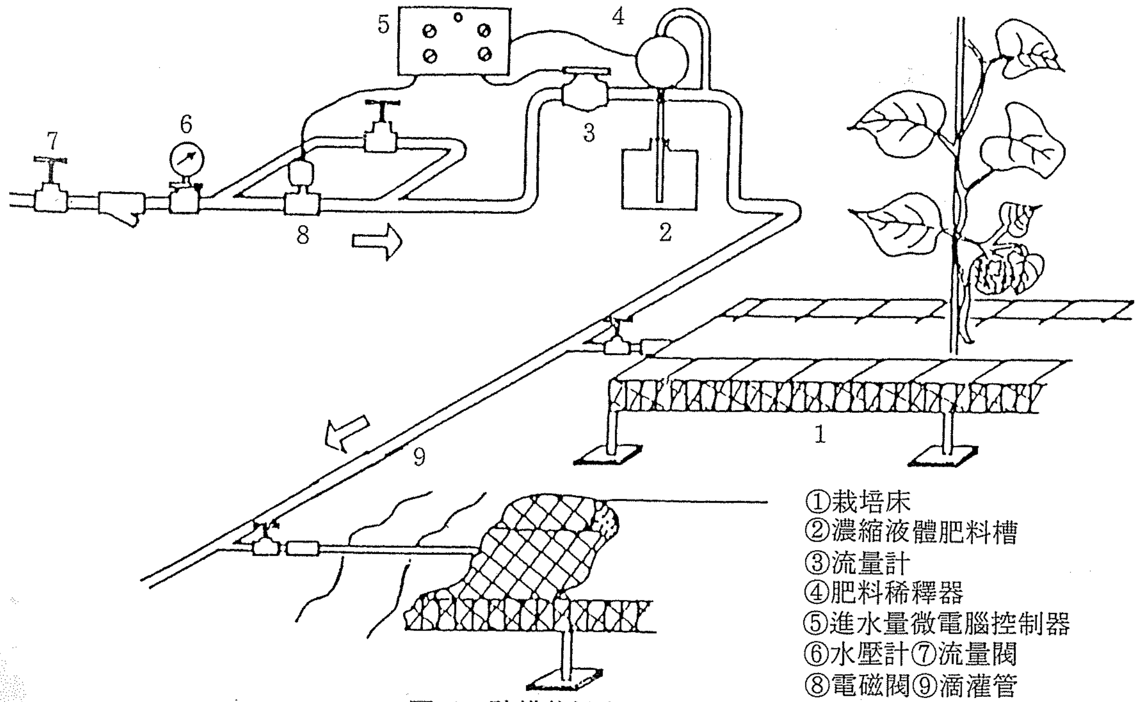
⑻栽培介質長期使用時亦著生青苔等，不利根系生長之物質。

⑼根圈四周環境變化較大，導致養液變質及影響及回收養液之再使用性。

⑽每1000㎡設施費用新台幣120～180萬元。

㈡砂栽培（Sandponics）（照片三）

1.栽培設施（圖三）



圖三　砂耕栽培之結構及配備

(1)栽培床：細目之金屬鐵網製，寬度60cm，長度7cm，長度則依實際地形而定，栽培床由鐵架承載，果菜型採用矮腳式，離地10～20cm，葉菜型採用高腳式，離地60～75cm。
(2)栽培介質：0.02～2.0mm之土壤粒子，孔隙30～40％。
(3)水壓計。
(4)進水量微電腦控制器。
(5)流量少。
(6)肥料稀釋器。
(7)電磁閥。
(8)滴灌主管及支管。

2.供液系統（圖三）

採養液滴灌不回收之方式，每一植株有一滴灌支管，當進水量微電腦控制器發出灌水指令時，各部灌水設施同時啟動，使一定量的原水流經流量計及肥料稀釋時，自動地將濃縮液調配成營養液，且經由滴灌主管及支管，使每一植株獲得相同之營養液，又多餘之營養液，則由砂層下方細目之金屬鐵網中流下，一般而言，比供液系統，2～3日施用一次灌水量為砂層飽和水量之10％左右。肥料稀釋倍數依季節及作物生育期別而定，大約在300～2000倍間。

3.栽植方式

一般葉菜類蔬菜可採用種子直播方式，番茄、胡瓜、洋香瓜等果菜類，則採用幼苗移植法，果菜類種子先在盆鉢中播種假植待幼苗長至3～4片葉子時，將幼苗連同盆鉢一起移入砂床上。

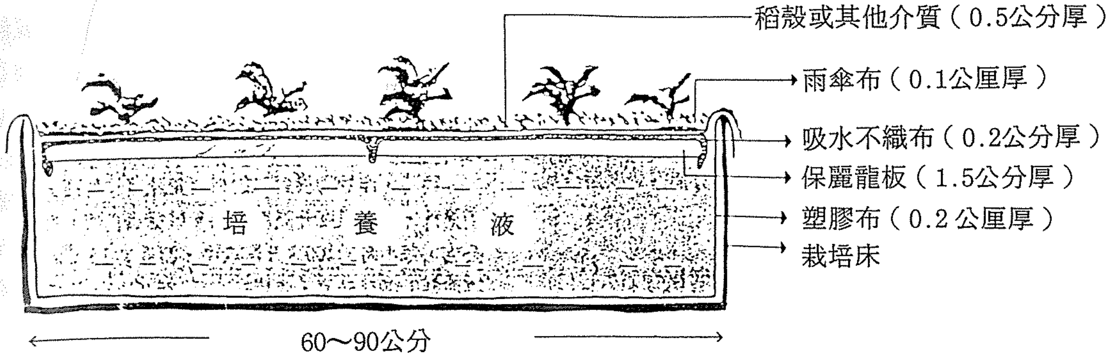
4.砂栽培之優缺點

(1)不需使用完全肥料配方。
(2)植物根圈通氣性較佳。
(3)無土壤連作障礙之困擾。
(4)無需除草。
(5)肥料、水及電力之消耗較低。
(6)由於養液不回收可減少湛水循環時病菌之蔓延。
(7)每次收獲後砂床必需薰蒸。
(8)點滴管長期使用下易阻塞。
(9)每一植株適當灌量不易維持。
(10)由於砂粒曝露於大氣中，易因陽光過強養液過度蒸發而引起砂層上方發生鹽類堆積。
(11)每1000㎡之設施費用新台幣125萬元。

(三)鳳山浮根式水耕（照片四）

1.栽培設施（圖四）

(1)栽培床：以硬質塑膠板、FRP板、保利龍板、木板或鍍鋅鐵管架等圍成一長方體型，其寬度30～90公分，長度20～30公尺深10公分，斜度1／200。長方體內需舖一層防漏塑膠布。
(2)浮媒體：在栽培床內注入培養液後，再放入一塊保利龍板其規格1.0～3.0公分厚，寬度25～85公分（依栽培床內幅寬減少5公分）保利龍板上方再包裹一塊不織布（Spunbonded polyester）其厚度為0.2～0.5公分，舖設時必需在保利龍板的兩邊及中間處使不織布垂落在培



圖四　浮根式水耕葉菜類栽培床縱剖面圖

養液中至少3公分以上之深度。

(3)尼龍布：將0.1mm厚的尼龍布（190線／cm²，不能塗防水油質）覆蓋在不織布上。

(4)栽培介質：稻殼或碳化稻殼，舖設厚度0.5公分。

(5)養液槽：以鋼骨水泥製或黑色PE硬質塑膠桶，大小依栽培面積而定。

(6)抽水幫浦或肥料抽引幫浦：利用抽水幫浦配以PVC管連接抽水幫浦或栽培床，並在栽培床中裝置水位控制開關使養液自動補充，或利用肥料抽引幫浦抽取定量的原料（A液與B液）依一定比例與原水混合送入栽培床中。

2.供液系統

採用養液不循環，不回收，栽培床內養液不流通之湛水方式，當栽培床內養液低至預設之水量時，會啟動栽培床內之水位控制開關發出指令使抽水幫浦將預先配好之養液灌入各栽培床中，直至水位恢復預設之高度時，抽水幫浦即停止動作。

3.栽植方式

一般葉菜類可用直播法、撒播法或點濇法直接將種子播種於濕透的尼龍布上。果菜類蔬果則採用移植法，先將種子行浸種消毒及催芽後，待種子胚根伸長0.1～1.0公分時再夾於浸濕之海綿塊（4×4×4公分）中，進行假植。俟季節溫度而定，大約假植10～14天後，即可移入栽培床上。

4.鳳山浮根式之優缺點

(1)結構簡單可自行搭建。

(2)設施費用便宜，每1000㎡僅新台幣20～30萬元。

(3)葉菜類種子採用直播法較為省工，但種子發芽率不整齊，且栽培時間較長。

(4)植株根系形成根毯，直接露在空氣中，不懼高氣溫引起溶氧量缺乏的困擾；但因介質無法固持植株，因之較易因外界之風力或人力而倒伏。

(5)由於栽培介質會吸附養液且直接露在空氣中，因之栽培過程無法避免藻類之感染。

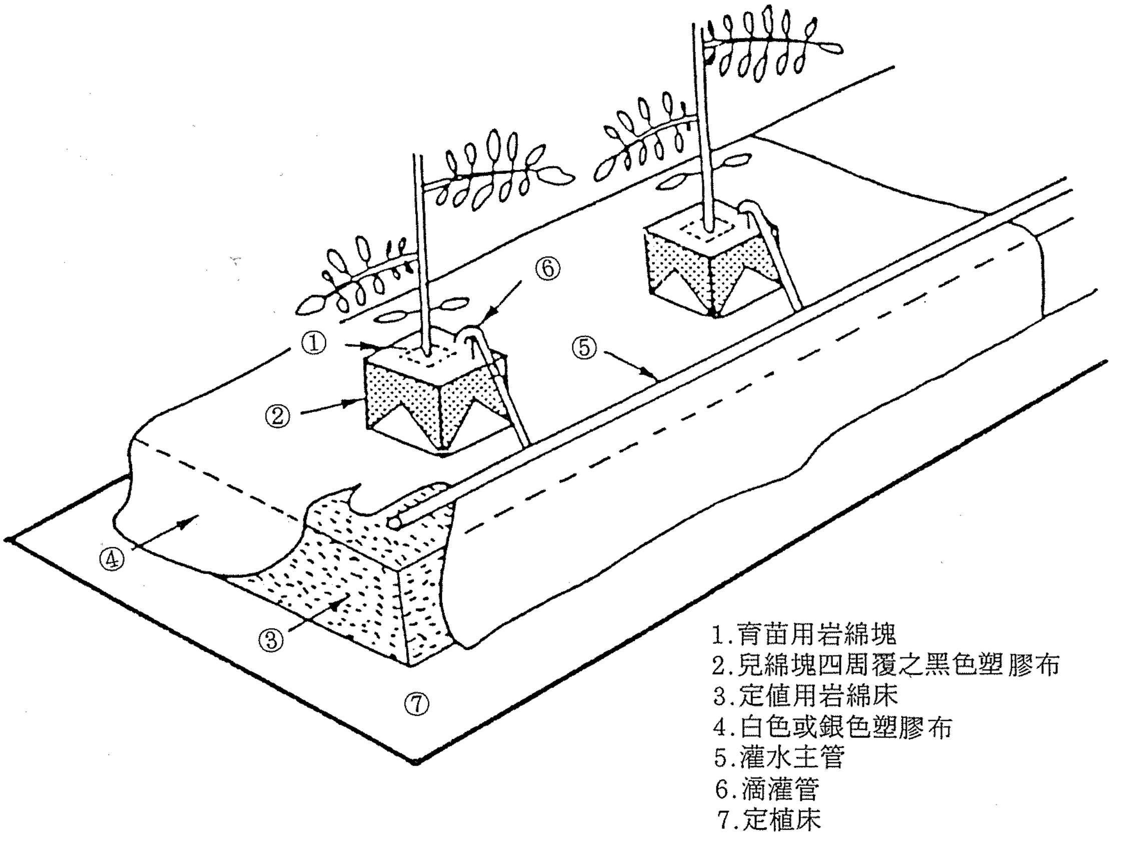
(6)由於養液不循環栽培過程根圈附近養液易變質出現油漬且無法調整養液之組成分。

(四)岩綿式水耕（照片五、六）

岩綿栽培是目前世界上果菜類蔬菜養液栽培使用最廣之栽培法，單就荷蘭而言即有2000公頃左右之岩綿栽培農場。與NFT法相比，岩綿法之裝置更輕便簡單，且養液不循環，不回收，因

之對於營養液之管理及根系病害之管理較為方便。岩綿（rock wool）為火山爆發後之火成岩（玄武岩及輝綠岩）與石灰岩（lime stone）及木栓（coke）等三種物質，以60：20：20之比例在1500～2000℃下融合擠壓而成之一種不織物，當融合後在回冷過程中並加入　樹脂，使之降低表面張力。換言之，岩綿之通氣性高具97%之孔隙率及82%之保水率，其化學組成分為pH：7.0～8.5，含$SiO_2$45 %，$Al_2O_3$15 %，CaO 11%，MgO 11%及Fe_2O_3 12%。世界上生產岩綿之商社有Grodan， Basalan，Gultielene，日東紡，新日鐵及ニチアス等六家，前三者之廠址分別在歐洲丹麥及荷蘭，後三家則為日本商社。歐洲商社之產品係使用火成岩為主要原料，因之成品較硬，而日本商社之產品則以鋼鐵廠之廢爐渣（Slag）為主，其產品較軟，效果較差。

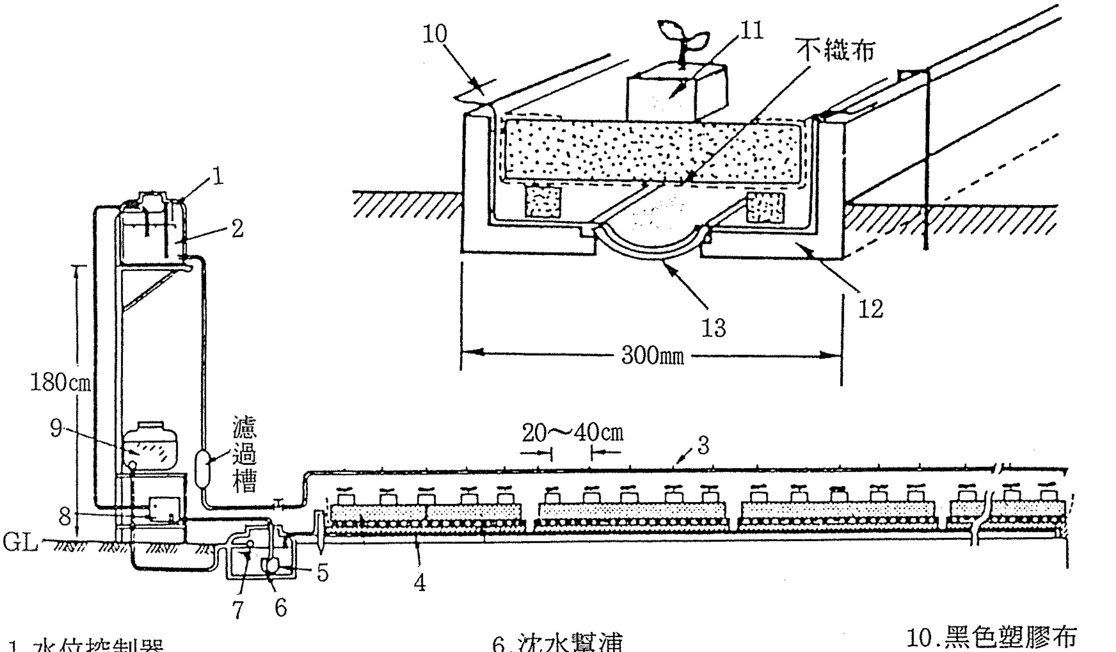
從1980年代岩綿栽培法被廣泛使用後，即有廠商推出其獨特之岩線栽培技術，例如荷蘭之Grodan、日本之涉谷式、靜岡式、渡邊式、千代田式、影山式、全農式、誠和式、みかど式、高木產業式等等，但是基本上岩綿栽培法，可依(1)養液之循環回收否，(2)養液之灌液方式（滴灌、噴灌）及(3)栽培床之裝置而定。如圖五所示，為荷蘭Grodan式之岩綿栽培法的基本結構，主要有岩綿定植床。此定植床之規格之大小不一，長度90～120公分、寬度15～45公分、厚度5～10公分。而定植床之外面裝置基本上由一塊不漏水之白色或銀色塑膠布，但日本方面則先以不織布罩在定植床上，其上再覆以防漏塑膠布。又日本方面之商業化系統亦有將定植床置於保利龍栽培床



圖五　荷蘭 Grodan 式之岩綿栽培法的基本結構

內以防止養液之蒸發。在定植床上方為小岩綿塊，此岩綿塊之規格為長7.5～10公分、寬7.5～10公分、厚4～10公分，四周以黑色塑膠布圍之，此岩綿塊早期供為育苗用，待植株幼苗長至一定高度時再移至定植床上。在移植前將定植床上塑膠布切割成育苗塊之大小，以供植株定植用。至於養液之灌排方式則依廠商不同而異，荷蘭Grodan公司之系統採用滴灌法，養液不回收，每一岩綿塊上有一支滴灌管，由主管提供每一植株同量之養液。而日本方面之商業化系統，其灌液方式則分成噴灌或滴灌及養液之回收循環使用否，各有不同。

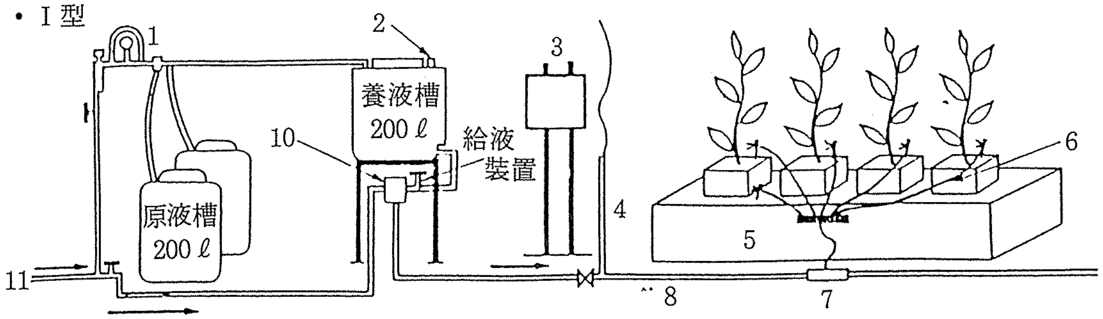
如圖六所示為日本筑波大學浴谷正夫博士設計之循環式岩綿栽培法，岩綿栽培床的高度10～20公分，在栽培床的底部舖設一層塑膠布，中央設置排水管為防止岩綿床過濕，以5公分的岩綿塊墊高岩綿床，岩綿床規格為寬30公分、長90公分、高7.5～10公分的成型岩綿排列而成。給液方式為由高度1.8公尺的高架給液槽供給而連結於各岩綿塊之給液槽，其上固定間隔有噴水孔，每一孔以30毫升／分的噴水量供液，而多餘的養液則流至回流液槽。給液槽為2個200公升容量之濃縮液給液槽及一個500公升的混液槽，並有自動稀釋裝置，可依回流槽的水位變化自動抽回流槽內養液至高架給液槽，並自動補充養液。圖七上及下為日本全國農協所開發之Ⅰ、Ⅱ型之岩綿栽培系統為養液不循環不回收系統之代表。Ⅰ型之灌液系統為藉由滴灌管直接播在小岩綿塊上，每日定時供給於植株一定量之養液。Ⅱ型之灌液系統則改用雙層管壁（twin wall）塑膠噴灌用軟管，每日定時定量地給於植株相當的養液，至於多餘的養液則不另設養液槽回收之。圖八之誠和式岩綿系統可歸類為循環式與點滴式之中間型，其多餘的養液可再循環使用，也可以廢棄處理



1.水位控制器
2.給液槽
3.噴頭管
4.排水管
5.養液回流槽
6.沈水幫浦
7.浮球開關
8.控制盤
9.混液槽
10.黑色塑膠布
11.育苗用岩綿塊
12.保利龍
13.集水管

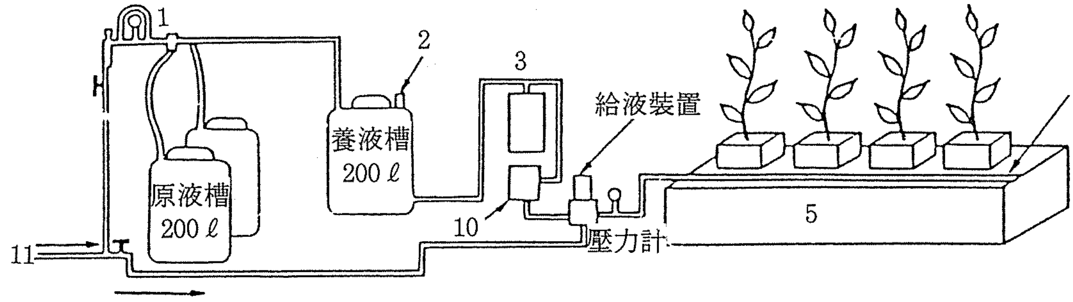
圖六　涉谷循環式岩綿栽培系統之結構其規格

• I 型



1. 真空幫浦
2. 浮球開關
3. 控制盤
4. 通氣管
5. 定植用岩綿栽培床
6. 滴灌管
7. 多層接頭
8. 灌液管
9. 雙壁塑膠管
10. 排水幫浦
11. 水源

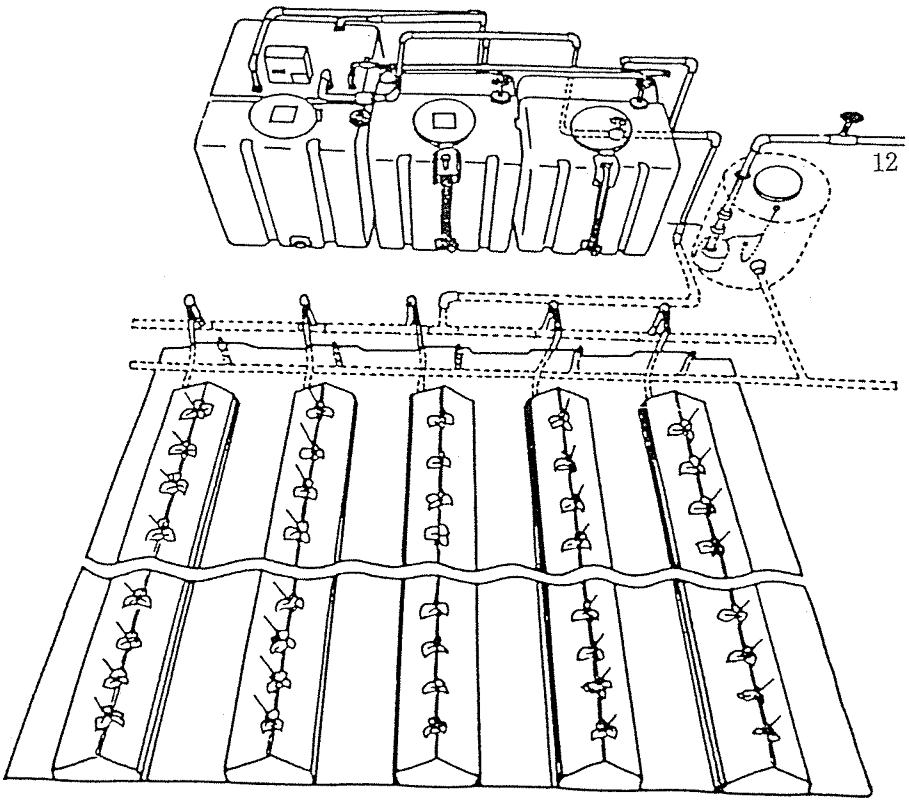
• II 型

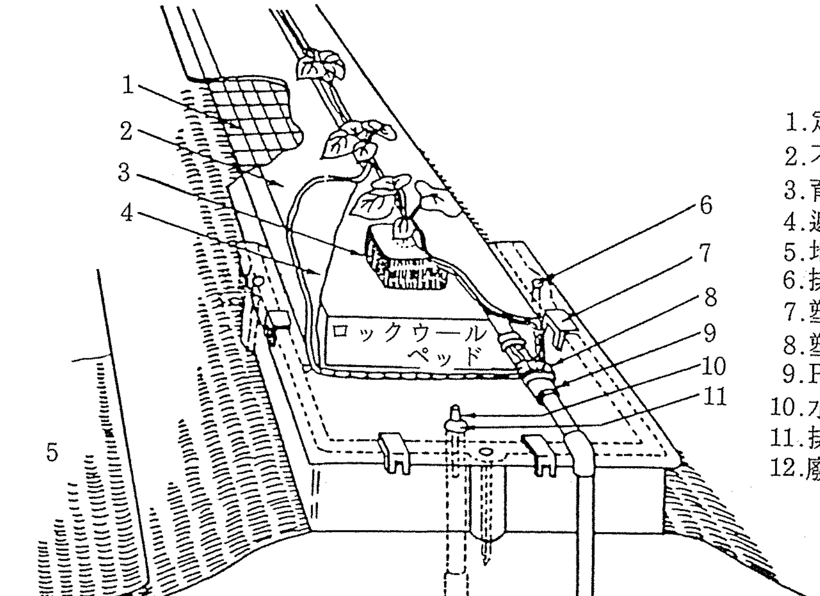


圖七　日本全國農協開發之 I 、II 型岩綿栽培系統

。由於作物的根系無法穿透栽培床之包裹，因此在岩綿床下設一氣墊，以確保對根系的供氧量及行水位之調節；誠和式岩綿灌液法採用滴灌方式給液，當養液流至底部，可由排水控制管調節水位，多餘的養液再由包覆岩綿床之塑膠布下方耳狀突出處流至氣墊下方，由排水管排出，至於排出的養液則流回排液槽再循環使用或廢棄。

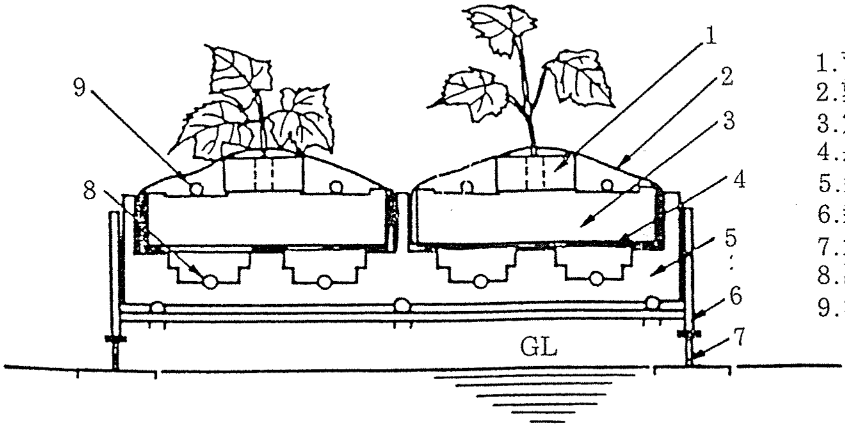
圖九為PLOBAR-W式栽培床的模式，此種栽培法為岩綿栽培與NFT兼用栽培技術。岩綿栽培床上設置二列滴灌管，可將岩綿床均一地灌液，多餘的養液經透水紙流入傾斜的溝中排出。NFT栽培時以定時器間歇給液，供液時四條溝中同時以1.6～2.0公分的水量流灌而根系的供氧方式則由上位根系直接曝露於空氣中。岩綿栽培時的點滴液及NFT的養液循環均由定時器自動控制。養液的加溫冷卻利用設置在栽培床溝中的塑膠管，以熱水或冷水流通方式。NFT栽培時，可於貯液槽內放入加溫管直接加熱之。圖十為日本協和種苗式岩綿栽培法，其特徵岩綿床放斜，灌液方式採用雙層管壁塑膠管噴灌方式，多餘的養液由排液管排出，廢棄之而不回收利用，再者此系統利用外加之保溫遮蔭用，塑膠布套將岩綿床罩之，如此可減少養液與根系受外界大氣環境之干擾。



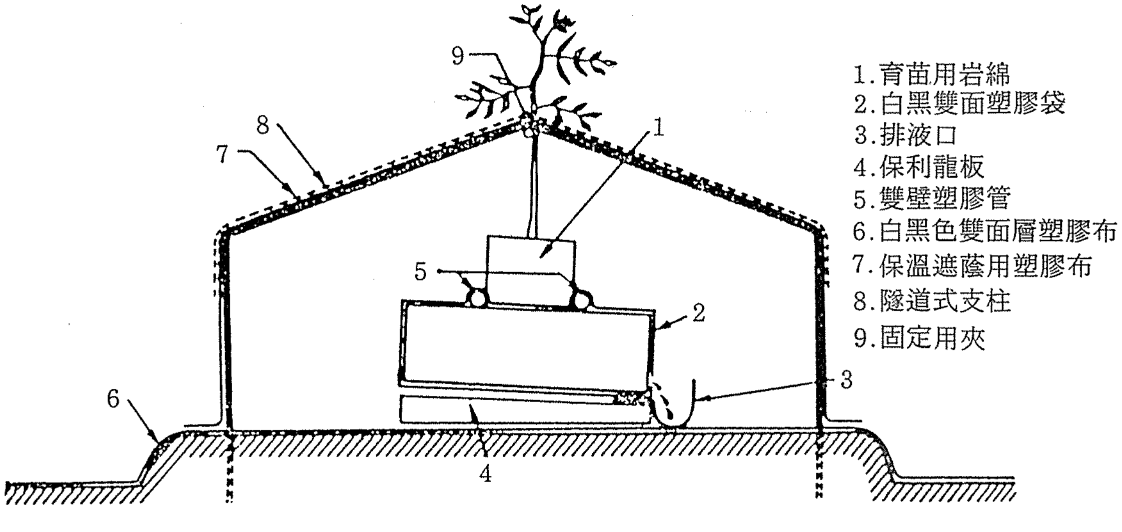


1. 定植岩綿床底塑膠布
2. 不織布
3. 育苗用岩綿塊
4. 遮覆用銀色塑膠布
5. 地面塑膠布
6. 排水管
7. 塑膠布夾
8. 塑膠管接頭
9. PE 接頭
10. 水位控制器
11. 排水管蓋
12. 廢液排出處

圖八　誠和式岩綿系統



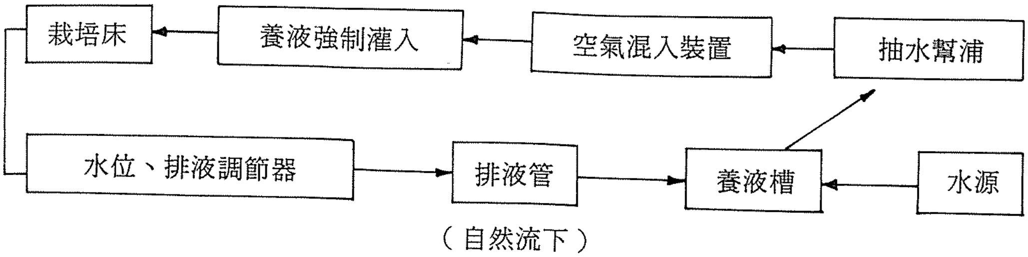
圖九　PLOBAR-W 式岩綿 NFT 兼用栽培系統及規格



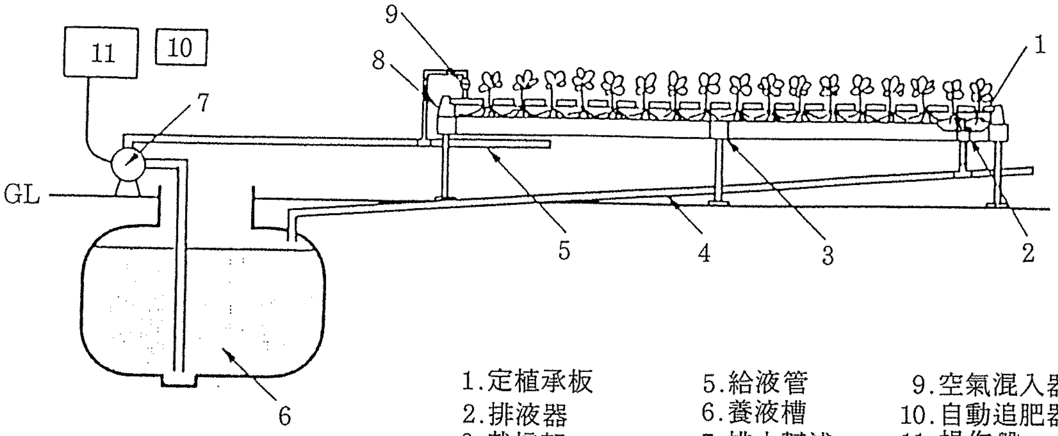
圖十　協和種苗式岩綿系統及其規格

㈤協和水氣耕ハイポニカ（照片七）

民國七十四年三月在日本筑波開辦之萬國博覽會中，一株號稱可長12,000個果實之水耕番茄樹震驚了世界此栽培技術即為協和株式會社開發之"協和水氣耕ハイポニカ"的栽培技術。本系統之特徵為栽培槽之循環系統各自獨立，栽培槽之資材為ABS樹脂，優點為耐熱、耐衝擊，其規格為長3.64公尺×寬0.65公尺×深0.07公尺，栽培果菜（果菜D型）時，每57公尺×18公尺設施內裝置120槽，若栽培葉菜時（葉菜I型），則每45公尺×18公尺設施內裝置160槽。唯不論果菜D型或葉菜I型，其灌排液系統均如下圖所示：

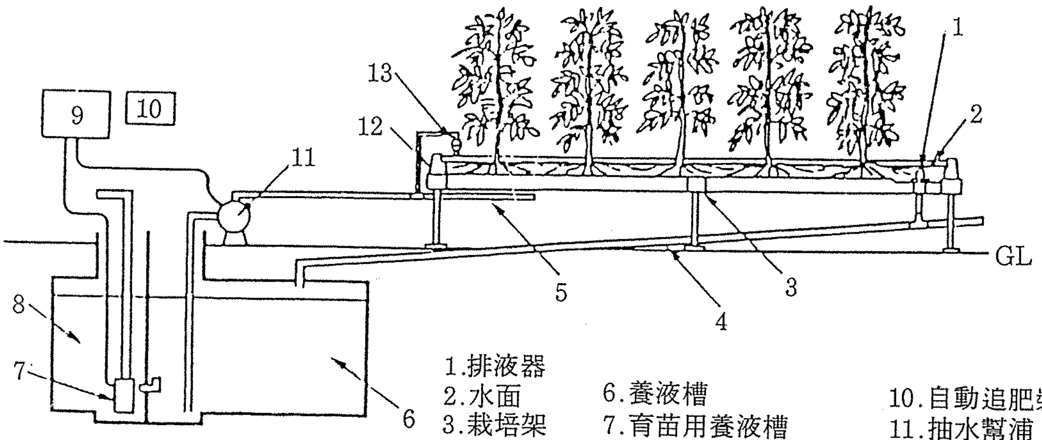


栽培時，果菜D型栽培槽上方之承板資材為保利龍，其內有14個四方型之栽培穴，供移植時塑膠栽培鉢固定用。葉菜I型栽培槽上方為保利龍承板，此承板浮於養液上，以下圖十一、十二就此兩系統之構造以圖示分別說明之：



1.定植承板
2.排液器
3.栽培架
4.排液管
5.給液管
6.養液槽
7.排水幫浦
8.栽培床
9.空氣混入器
10.自動追肥器
11.操作盤

圖十一　協合式葉菜 I 型系統及其配備

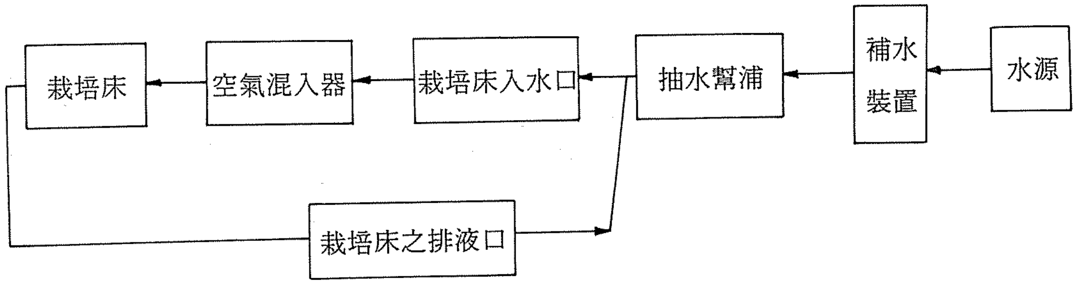


1.排液器
2.水面
3.栽培架
4.排液管
5.給液管
6.養液槽
7.育苗用養液槽
8.育苗用抽水幫浦
9.給液及液溫控制盤
10.自動追肥裝置
11.抽水幫浦
12.栽培床
13.空氣混入器

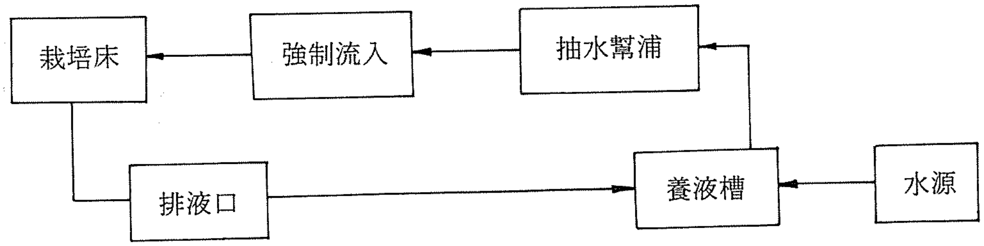
圖十二　協合式果菜D型系統及其配備

㈥M式水耕（照片八）

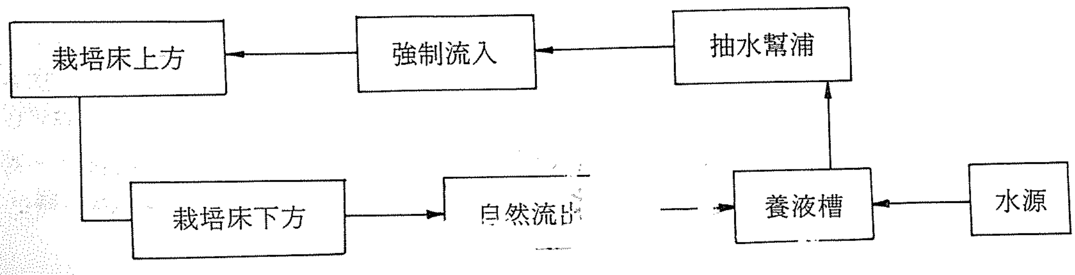
M式水耕研究所為日本3大水耕廠商之一，該系統由1967年開發推廣以來，廣泛地被利用於鴨兒芹、日本芹等軟弱蔬菜之栽培。改良型之M式水耕系統分成GFMえむ型及1983年開發之MFTさか型兩種，前者適合於栽種一般軟弱蔬菜，後者則專供番茄、胡瓜、洋香瓜等之果菜栽培用。M式水耕之栽培床資材為隔熱保溫性極佳之保利龍，基本長度為1.2公尺，寬度在果菜型為60公分，葉菜型為120公分。栽培床上方栽培承板之厚度為3公分，長度為90公分，寬度為60公分，至於栽培床則依作物別而定分成果菜型4穴及葉菜型之49.64及120穴。葉菜型M式水耕栽培床通常安置於地平面上，而不以鐵架置於地面上，以減少構築成本。而果菜型則以30公分高之鐵製台架將栽培床架高。M式水耕之養液灌排系統略有不同，在葉菜型沒有養液槽，各栽培床底有一排液器連接至抽水幫浦，利用幫浦之啟動，將養液再抽回栽培槽中，其養液流程如下：



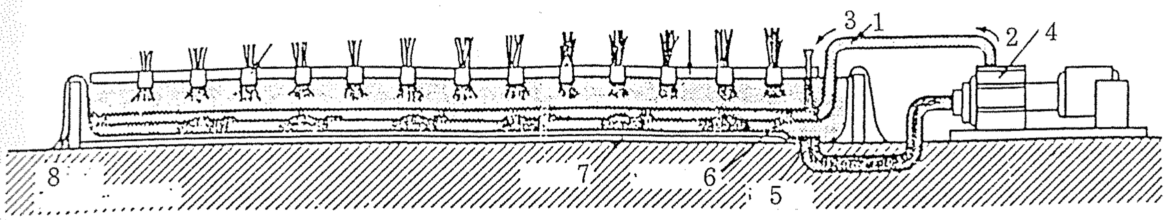
但在果菜型則外加有一養液槽，抽水幫浦將養液槽之養液抽出，強制灌入各條栽培床中，藉由栽培床之斜度將養液趕至栽培床低處之排液口，再流回養液槽中，其養液之流程如下：



M式水耕研究所由於受到英國NFT水耕系統觀念之影響，從1969年開發之GFMえむ型葉菜水耕系統以來，至1983年時又開發新的系統名之MFTさか型水耕系統，供為果菜栽種之用。最近該研究所又推出GFMレき型葉菜水耕系統，此型之養液灌排流程如下：

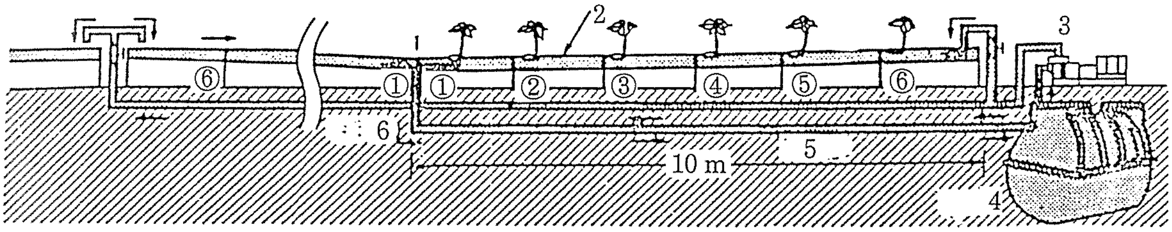


圖十三、十四、十五爲M式水耕研究所歷年來開發之三系統之圖示。



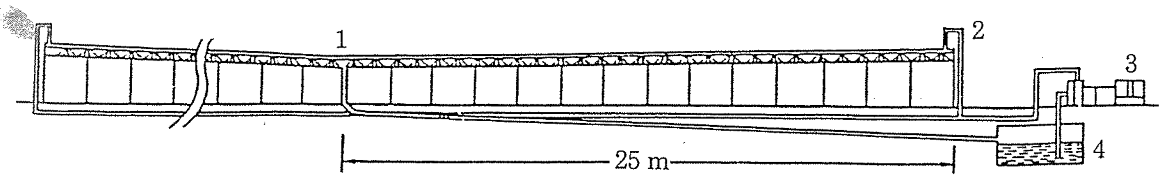
1.海綿　　3.PVC管　　5.入水口　　7.栽培床
2.栽承板　　4.抽水幫浦　　6.噴水口　　8.防漏塑膠布

圖十三　M式 GFM えむ型之水耕系統及其配備



1.排水口　　3.抽水幫浦　　5.排水口
2.果菜用栽培承板　　4.養液槽　　6.給水管

圖十四　M式 MFT さか型之水耕系統及其配備

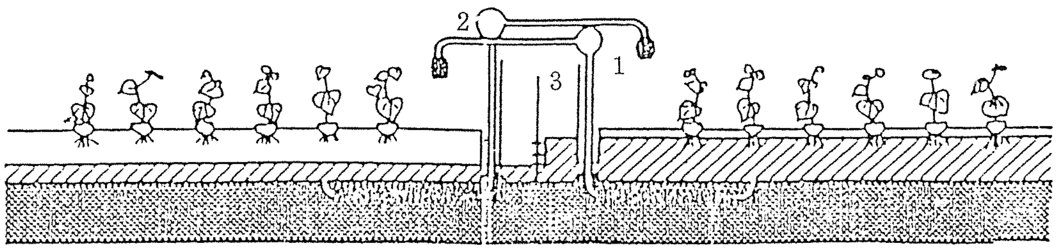


1.排水口　　2.給液管　　3.抽水幫浦　　4.養液槽

圖十五　M式 GFM しき型之水耕系統及其配備

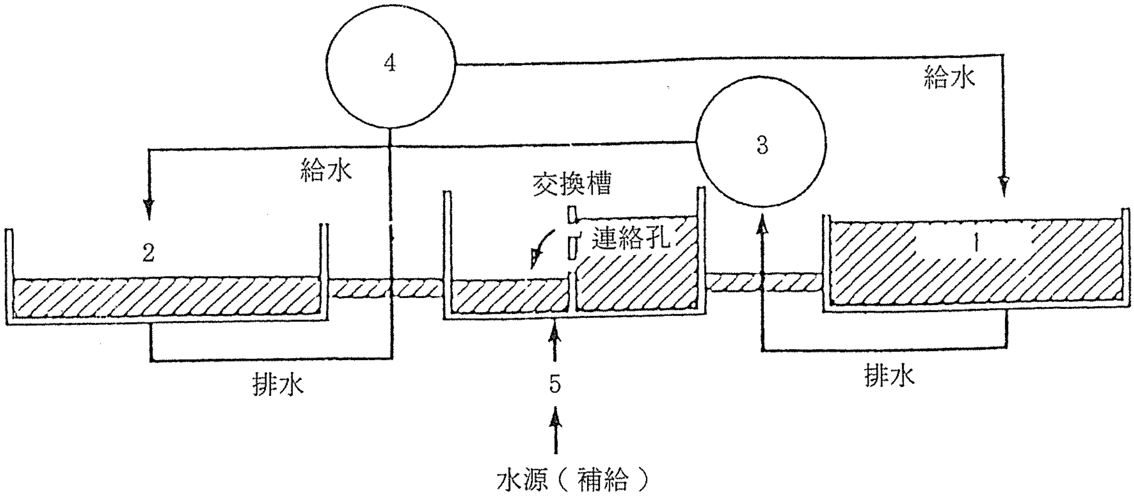
㈦新和等量交換式水耕（照片九）

新和等量交換式水耕是1970年日本新和塑膠公司開發之水耕系統，基本上此系統為湛水循環式，無養液槽。如圖十六、十七所示，將栽培槽置於左右兩側，藉由中央之交換槽不但可維持左右各栽培床中養液、水平之一致性，而且外在水源可隨時流入交換槽，藉以維持各栽培床之最低水位。再者，在左右兩列栽培床中，安裝有2台抽水幫浦（如圖十六所示）每小時初A栽培床之養液藉由抽水幫浦“1”之動作將養液抽入栽培床B中，待B床水位昇至最高時，B邊之交換槽中有一浮球開關即將抽水幫浦“1”關住；至每小時之第31分時，抽水幫浦“2”開始啟動，將B栽培床之養液抽回A床俟A邊之交換槽之浮球開關啟動時又將抽水幫浦“2”關住。至於2個抽水幫浦之啟動係由一組微電腦定時控制器來操作，此控制器可調節1～2小時內重複抽水1～2次及調節每星期操作0～7天。



1.及2.為抽水幫浦　　3.交換槽

圖十六　新和等量交換式水耕系統及其配備



1.2.為栽培床　　3.及4.為抽水幫浦　　5.為浮球開關

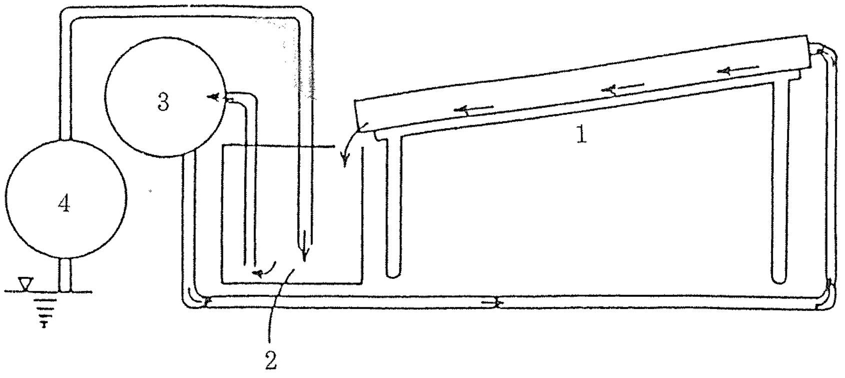
圖十七　新和等量交換式水耕系統之灌排系統及交換槽

新和等量交換式之栽培床資材為保利龍製，分成U型灌水溝、中間隔板、斷熱板及栽培用承板4種，其規格依果菜及葉菜型而異。

㈧NFT栽培法（照片十）

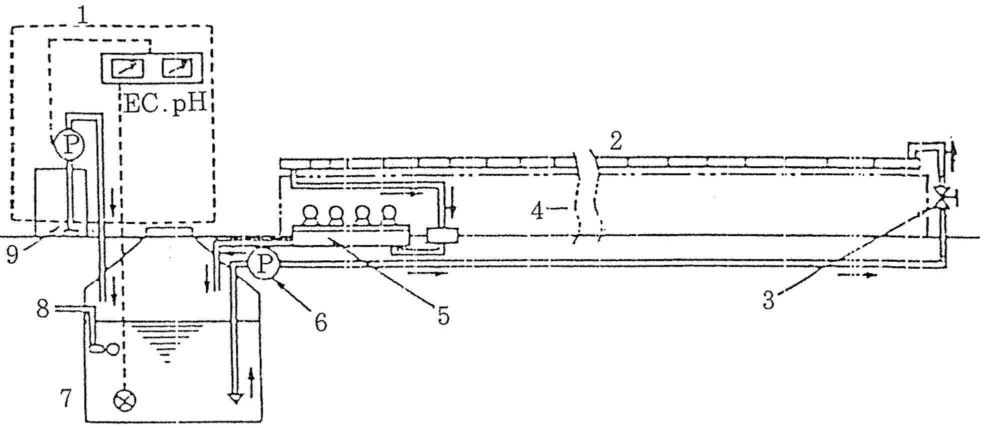
NFT（nutrient film technique）栽培法譯名為營養薄膜法於1966年由英國溫室研究所之古柏博士開發成功。在基本上NFT之結構如圖十八所示，將植物種在一具斜坡之栽培床內，利用抽水幫浦不斷地將養液打入栽培床中，由於養液在栽培床中之深度僅1～3公分間，故稱之營養薄膜。古柏博士當初所採用之栽培床為利用不漏水之PE塑膠布，將之折成角錐型，營養液由栽培床上方流入，植株根部則以塑膠夾固定在塑膠布內。本系統之優點為造價便宜，可自行搭建，營養液之濃度、溶氧量及溫度可人為調控，而主要缺點為栽培床斜度不易製作，若不能保持80：1至100：1，則營養液流速太快易失去平衡；又需自備發電機，否則一旦停電植株枯萎。

歐美方面農家使用NFT栽培蔬果時，大致上以自行搭建為主，所用資材以現地取材為主。然而，日本方面卻有幾家廠商將之開發成品，例如前述之M式水耕研究所之さカ型及レき型，其他型式如サンスイ式、みかどNFT式及シ-アイSS式，其結構如圖十九、二十、廿一所示。



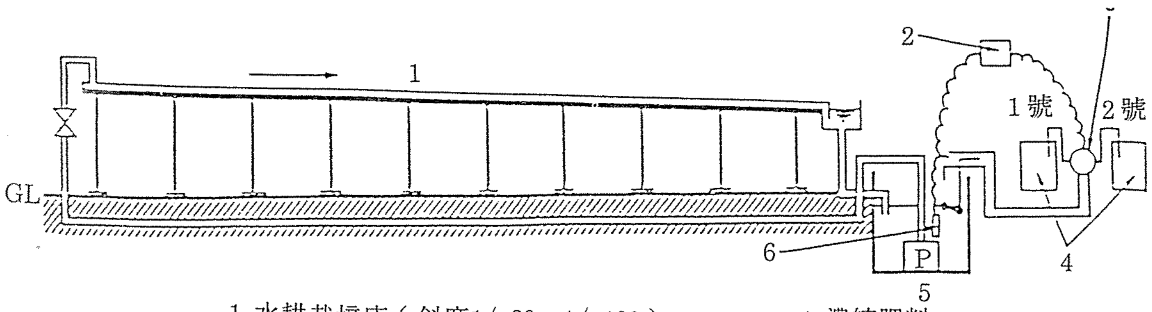
1.栽培床　2.養液槽　3.養液抽水幫浦　4.水源抽水幫浦

圖十八　NFT 法之基本結構及配備



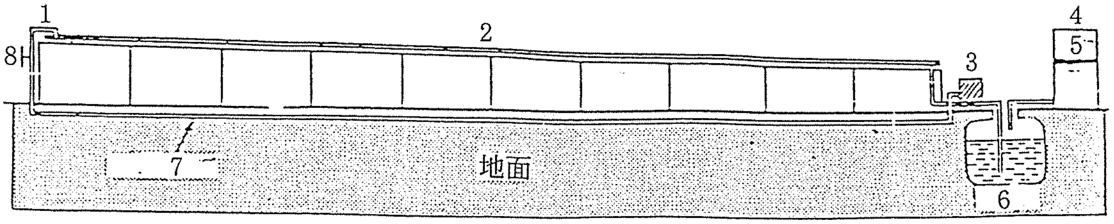
1.EC 及pH 控制盤　4.過濾器　7.養液槽
2.水耕床　5.殺菌裝置　8.水源
3.水閥　6.抽水幫浦　9.濃縮肥料

圖十九　サンスイ水耕基本結構及其配備



1.水耕栽培床（斜度1/ 80〜1/ 100）　4.濃縮肥料
2.EC 計　5.養液槽
3.定量幫浦　6.EC 感應器

圖二十　みかど NFT 法之基本結構及其配備



1.灌液管
2.栽培床（斜度1.5%）
3.抽水幫浦
4.自動給液裝置
5.液體肥料
6.養液槽
7.PVC 進液管
8.水閥

圖廿一　シーア SS 水耕基本結構及其配備

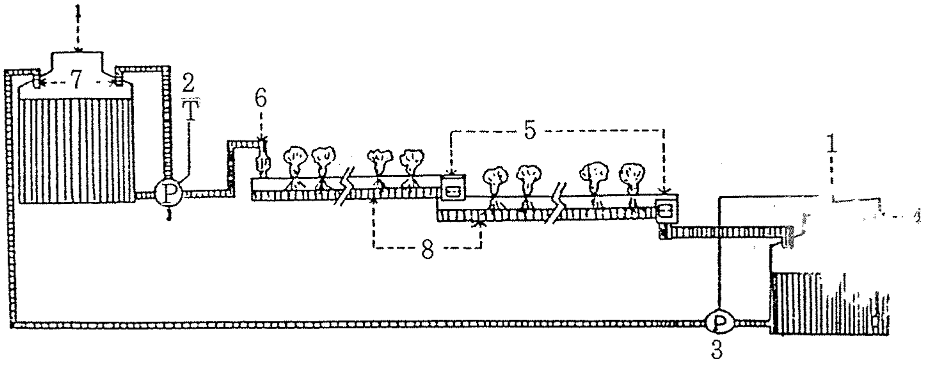
(九)動態浮根式水耕（照片十一）

台中區農業改良場針對熱帶地區終年氣溫高達28～35℃間，導致水溫隨之昇高而造成養液中溶氧量低下，栽種作物生育不良之弊端，於民國七十五年開發一套適合熱帶地區栽培水耕栽培系統，名之"動態浮根式"。所謂動態浮根式水耕栽培系統，係基於植物栽種於本系統時其根系在每次營養液之灌排流程中，隨養液之昇降而上下左右波動，且一旦栽培床灌滿8公分之水位後，藉由栽培床內之水位昇降排液器，可使養液由8公分逐漸降至4公分；因之，上位根部可因露於空氣層中而增加根部性，而無懼夏季高溫所引起溶氧量低下之困擾。再者，本省每年8～10月間常有颱風之侵襲，因之，該場於民國七十七年間進一步開發一套組合式抗風型矮架水耕溫室（照片十二），配合原先之動態浮根式水耕系統，使得本省之水耕栽培事業邁向週年生產性、工廠化之境界，從此不再畏懼外界天候之干擾。茲將此系統之各種設施簡述如下：

1.栽培架及網室（照片十三）

以3／4″ φ鍍鋅鐵管為骨架，1／2″ φ鍍鋅鐵管為支架，並配合台中區農業改良場自行開發之三種套管（照片十四），而搭建一寬2.1公尺，中心最高工作點1.8公尺，床架高度60公分，長度14.4公尺之矮架網室。屋頂部覆以0.2㎜之PVC透明塑膠布，兩邊長度垂至床緣，為活動式，平時掀起以利通風，下雨時拉下可防雨。颱風來臨時，另將塑膠布以塑膠拌帶固定之。網室四周則以24目之白色尼龍紗網圍住，以防蟲害。於夏季氣溫超過30℃時，可於屋頂塑膠布上加覆40%之PE黑色遮蔭網以為降溫。

2.栽培設施（圖廿二）



1.養液槽
定時器
3.抽水幫浦
4.浮球式水位控制
5.排液器
6.空氣混入器
7.迴流曝氣裝置
利龍栽培床

圖廿二　動態浮根式水耕栽培系統之設置

⑴栽培床

葉菜型之水耕栽培床係以保利龍為資材之發泡成型的雙凹型槽，標準栽培床規格為內徑深8公分，長180公分，寬92公分，中央有2公分寬之凸起，將栽培床分隔成兩槽即呈凹型。由於蔬菜栽培床為大型床，中央之凸起具有支持保利龍面板之功用。每一栽培床用3片長90公分，寬60公分，厚3公分之承板蓋住，每一承板上有等距離排列50個直徑2.2～2.6公分之圓形栽培孔。

⑵防漏塑膠布

構築栽培床時係依地形之長短，而以基本栽培床連接之，為避免漏水及著生藻類，栽培床內緣罩以0.15～0.2㎜之PE黑色塑膠布。

⑶空氣混入器

在每條栽培床前均裝置2個空氣混入器，當養液流入栽培床時，必需先經過此空氣混入器。由於空氣混入器之下方凸出處，裡面裝有2組十字型重疊塑膠閘門，一旦養液流經此處時會產生8條水流而沖出，再者凸出處上方開有2個0.1㎜直徑之圓洞，在養液流經時可將外界空氣隨之吸入而混入養液中。

⑷排液器

排液器固定於每一栽培床末端，為一圓形雙環塑膠閘門，外環固定的高度為8公分，基部圓周有2個圓形孔洞以流水，內環則由4個長度分別為3、2、2、1公分之套環所連接，可調節水位高低限組合為0～8公分，栽培床上之水位高低則完全視此內環之高低而定。

一般操作時內環之高度為4公分，栽培床內之養液可經由外環之圓洞，進入內環塑膠管而流回養液槽[illegible]培床內水位高於8公分時，養液會因淹過外圍塑膠管上方，直接進入內環管而流回養液槽[illegible]裝置養液昇降排液器之優點為每次灌液至下一次灌液時，栽培床內水位維持在8～4公分間。

⑸養液槽

以1,000㎡栽培面積為例，需於栽培床進液處之上方配置一個容量為10噸黑色PE硬質塑膠桶，而在栽培床後下方排液處之地下有一容量1.0公噸之同質塑膠桶。在小塑膠桶中裝設有控制水位之浮球開關，其作用為允許栽培床流回小養液槽之養液滿至850～950公升時，則其旁之抽水幫浦立即啟動，將養液抽回栽培床前方之大塑膠桶。

⑹抽水幫浦

以1,000㎡之栽培面積為例，在栽培床後方與1.0公噸小塑膠桶連接之抽水幫浦的規格為1.0馬力之高速馬達，轉速為3,400rpm。而在栽培床前方與大塑膠桶連接之抽水幫浦的規格為0.5～1馬力之高速馬達，每分鐘轉速至少為3,400rpm。

⑺定時器

作為控制栽培床前方抽水幫浦之定時操作用，其規格為24小時循環式，每一動作時間為15分鐘或更短。盛夏時從上午10時至下午16時間，每二小時動作一次，每次15～30分，至夜間12時再動作30分鐘，若春[illegible]冬季時，則中午12時及下午12時各動作一次，每次30分鐘。

⑻迴流曝氣裝置

於栽培床前方之大養液槽上，當後方抽水幫浦打入養液時，其入口處加裝一個蓮噴頭，使養液成噴水狀進入大養液槽，且在前方大養液槽之抽水幫浦處加裝一條管路，一旦馬達啟動時允許

部分養液再迴流至大養液槽中，因之在其入水口處亦加裝一個蓮噴頭，如此可增加36％之溶氧量。

3.供液系統（圖廿二）

採用養液循環，回收再使用之方式，養液由栽培床前之高架養液槽24小時不斷地流入栽培床中，另外盛夏之際，每日10～16時間，由定時器啟動抽水幫浦將養液灌入栽培床，以加速栽培床中養液之流動。待養液流至栽培床尾之地下養液槽時，一旦達滿水位後，槽中之水位控制器會啟動另一抽水幫浦，將養液再打入高架養液槽中。

4.栽植方式

不論葉菜類或果菜類均採用移植法，進行動態浮根式水耕栽培技術，首先需將種子播種於中間有十字型切割之海綿塊中，每塊之基本規格為2.5×2.5×3.0公分，但市售成品已將96小塊海綿互相接連。一般葉菜類不需先行催芽、浸種之處理，可直接播種。播種是將種子點播於小海綿中心之十字切割處。依種子之大小而定，大種子播至海綿之1／2深處，小種子僅需1／3深處，每塊海綿播2～3粒種子。冬季蔬菜如菠菜、芹菜、鴨兒芹等種子，播種時要置於10℃之低溫下冷催，以促進發芽，當苗生長至本葉2～3片時，可移植至栽培床中栽培，移植時只要將小海綿輕輕剝開就可剝離，再一塊塊植入栽培穴中。

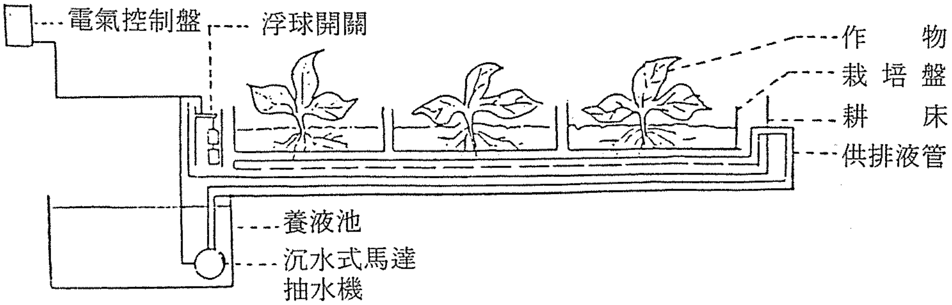
5.動態浮根式之優缺點

(1)抗風性佳，不懼颱風之侵襲。
(2)結構簡單可自行搭建。
(3)可立體化栽培（照片十五）
(4)一次採收栽培過程無需病蟲害防治。
(5)工廠化經營，每日定量出貨，收入穩定。
(6)溶氧量高，不懼夏季高溫。
(7)產量高兼具週年生產性。
(8)構築費用較高，每1000㎡需60～70萬元。

(十)升降式水耕（照片十六）

本栽培法為桃園農工呂校長理福與呂理組老師在台中高農服務時，所開發之水耕系統，升降式水耕法的重要特點是，養液的供應採取間歇式的液面升降，使根群在液面降下時充分獲得氧氣的供應，而在根群未乾之前液面又上昇以獲得養液的滋潤，可避免裝置其他供氣設備。

1.栽培設施（圖廿三）



圖廿三　升降式水耕栽培裝置

(1)栽培床：以木板、磚或水泥柱等做框，襯以紅泥布則可，規格為寬約95公分、長不要超過30公尺。
(2)栽培盤：可訂製，本物採用市售的塑膠質曬物盤，其規格為90×90×6㎝，根可由盤孔下伸。
(3)養液槽：儲存養液，其大小視栽培床之總體積而定。
(4)抽水機及配管。
(5)自動灌溉裝置。
(6)播種杯。

2.供液系統（圖廿三）

升降式水耕系統之供液系統係採用養液循環，回收及再利用之方式，栽培床上之養液與地下水槽之養液藉由供排液管相通，當定時器發出啟動電力之指令時，地下水槽中之沈水馬達即將養液抽入栽培床內，待定時器再發出關閉電力之指令時，栽培床內之養液即由供排液管之小洞中再迴流至地下水槽。至於供液次數之調節則視當季之氣象情況及作物之生長情形可靈活調節養液之供應次數（即液面昇降之次數），在一般情況下，每天供液三次，供液時間15分鐘。而栽培床中水位之控制則應隨作物之生長而逐漸調低。

3.栽植方式

(1)播種：先將經處理好的蛇木屑置於播種杯或栽培盤中。果菜類可利用播種杯或岩綿播種；葉菜類則可直接撒播於栽培盤中，播後應覆蓋。
(2)移植：將適齡的幼苗連同播種杯（或岩綿）移入於栽培盤中，再把栽培盤置於栽培床中（如為直接撒播於栽培盤中則不需移植）。

4.升降式水耕之優缺點

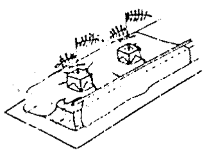
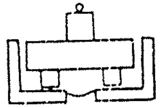
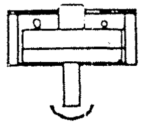
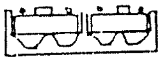
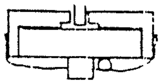
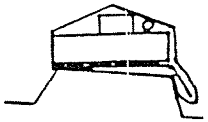
(1)結構簡單可自行構築。
(2)根系生長清況良好。
(3)養液落差小，回流慢，供排液管會阻塞。
(4)養液曝露在外，易生青苔。

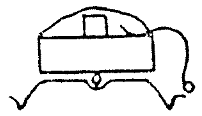
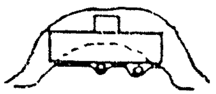
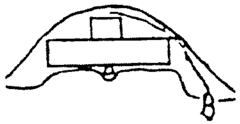
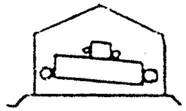
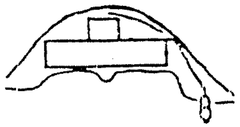
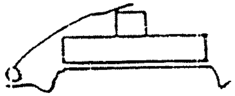
五、結　　論

本省位屬亞熱帶，每年5～10月間之高溫及颱風豪雨的侵襲，再加上十二月至隔年三月間低氣溫的困擾均係先天上不利於發展養液栽培的限制因子。在後天上，在熱帶地區若想發展養液栽培則其溫室硬體設施方面，又需注重其通風性、降溫性、抗颱風性及防蟲性。而在其栽培設施方面，則特別需考慮到栽培床資材之隔熱保溫性，養液中溶氧量之多寡，養液之日常管理的方便性及栽培操作能如工廠地一貫化，使栽培者在採購各種零組件後可自行搭建栽種之。

綜合上述國內外諸多養液栽培系統之特徵，將之歸納如表二、表三所示。換言之，要評估一個養栽培系統之優劣性，則其評分要訣之先後次序如下：(1)栽培床上之資材是否具有隔熱保溫性，(2)養液組成分之變異頻度之大小，(3)養液物理之變異頻度之大小，(4)養液槽之有無，即養液循環回收否，(5)養液組成分之調控系統，(6)作物之栽植方式（移植或直播），(7)適栽作物之種類（果菜、葉菜），(8)是否具週年栽作性，即年累作次數之多寡，(9)栽培資材之重複使用之耐用年限，(10)栽培設施成本及（11）經濟效益。

表二　各種岩綿栽培系統之特性

型　式	灌排液方式	栽培床資材	栽培床形狀	養液管理	價格 萬元/1000㎡	特徵	適栽作物
Grodan	點滴灌不回收	塑膠布包覆岩綿板		pH、EC採微電腦稀釋	30-40養液微控系統（20-30）20-30萬元	養液不回收無養液槽可自行設置	果菜
涉谷式	養液槽與栽培床間循環	岩綿板		養液槽內自動調節	30-40養液微控系統（20）	容易構築	果菜
靜岡型	養液槽與栽培床間循環	岩綿板		水量比例 EC自動調節 EC/ pH監控	60-70	可調節水分施工容易	果菜
PLOBAR-W	養液槽與栽培床間循環	岩綿板		養液槽內 EC/ pH 自動調節	80-90	兼用NFT	結球性葉菜及果菜兼用
千代田式	養液槽與栽培床間循環	岩綿板		養液槽內 EC/ pH 自動調節	100-110	流水及滴灌兼用可利用入射日照量控制	果菜
誠和式	滴灌，多餘水可排出及循環	岩綿板		養液槽內 EC/ pH 自動調節	50-60	強制排水滴灌及循環兼用	果菜

型　　式	灌排液方式	栽培床資材	栽 培 床 形 狀	養液管理	價格 萬元/ 1000㎡	特　　徵	適栽作物
全農 I 、II型	栽培床內點滴灌多餘水排出	岩 綿 板		溶量比例 EC 自動調節	50	I 型採用雙層管滴灌 II 型採用點滴灌	果　菜
大洋 Air-Rich	栽培床內點滴灌多餘水排出	不織布及岩綿板		溶量比例 EC 自動調節	32-35	養液槽內液液面控制	果　菜
カネコ岩綿式	栽培床內點滴灌多餘水排出	塑膠布包覆岩綿板		溶量比例 EC 自動調節	50	養液槽及利用日射量控制液量	葉　菜
和綿式	栽培床內點滴灌多餘水排出	塑膠布包覆岩綿板		溶量比例 EC 自動調節	42-44	栽培床內溫風加溫方式	葉　菜
愛知經濟連型	栽培床內點滴灌多餘水排出	塑膠布包覆岩綿板		溶量比例 EC 自動調節	21-25	養液槽及利用日射量控制液量	葉　菜
みかど岩綿式	栽培床內點滴灌多餘水排出	塑膠布包覆岩綿板		溶量比例 EC 自動調節	45	養液槽及細粒綿	葉　菜
高木產業	栽培床內點滴灌多餘水排出	塑膠布包覆岩綿板		溶量比例 EC 自動調節	65	電腦及利用日射量控制液量	葉　菜

表三 各型水耕栽培系統之特性

型式	灌排液方式	根系之氧氣來源	固持植物之介質	養液規格	養液管理	栽培床資材	價格 萬元/ 1000㎡	特徵	適栽作物
M 式	栽培床內循環	送液中曝氣	海綿及保利龍承板	無	pH 及 EC 儀自動控制	保利龍成型	230	利用送液過程同時吸入氧氣無養液槽	葉菜
さか式	薄膜循環	大氣	海綿及保利龍承板	有（3公噸／1000㎡）	pH 及 EC 儀自動控制	保利龍成型	125	施工容易	葉菜
しりミ	薄膜段流循環	大氣	海綿及保利龍承板	有（8-10公噸/1000㎡）	微電腦自動控制	保利龍成型	175-240	段流流水栽培床可移動	果菜
ハイポニカ	養液槽與栽培床互相循環	送液中曝氣	塑膠承籃及石礫	有（30公噸／1000㎡）	pH 及 EC 儀自動控制	ABS 樹脂成型	230-280	特殊曝氣裝置	果菜
神園式	養液槽與栽培床互相循環	給液管及養液面低下時曝氣	塑膠承籃海綿及保利龍承板	有（25公噸／1000㎡）	pH 及 EC 儀手動	泥框及 PE 樹脂床	110	設施結構簡單可自行搭建	果菜
新和等量交換式	栽培床間交換	液面低下時曝氣	海綿及保利龍承板	無	pH 及 EC 儀手動	保利龍成型	80-110	無養液槽及液面上下波動	葉菜
みかど NFT	薄膜循環	大氣	海綿及保利龍承板	有（4-10公噸/1000㎡）	pH 及 ECE 儀自動控制	波浪鐵板成型	60-110	施工容易可之體栽培	葉菜及草莓

型式	灌排液方式	根系之氧氣來源	固持植物之介質	養液規格	養液管理	栽培床資材	價格 萬元/ 1000㎡	特徵	適栽作物
サンスイ NFT	薄膜循環	大氣	海綿及保利龍承板	有（3公噸/ 1000㎡）制	pH及EC儀自動控	保利龍成型	70-110	紫外線殺菌，水流均一	葉菜
SPS式	間歇噴霧循環	礫中空氣	石礫	有（10公噸/ 1000㎡）	pH及EC儀手動	保利龍成型	150-180	多孔質，礫石有良好通氣及保水性，噴務	果菜
Sand-ponics	滴灌	砂中空氣	砂及紙籃	無	pH及EC儀自動控制	鐵網及鐵架	180	液肥自動混入	果菜及結球性葉菜
SS水耕	薄膜循環	大氣	海綿及保利龍承板	有（3-10公噸/ 1000㎡）	pH及EC儀自動控制	塑膠製凹凸成型	120	SS塑膠布，流水均一	葉菜
鳳山浮根式	自動加液不循環	浮根	稻殼	無	無	塑膠布及鐵框	20-30	構築費用便宜	空心菜，果菜
動態浮根式	栽培床與上下養液槽間循環	氣根迻液中曝氣及液面低下曝氣	海綿及保利龍承板	有2個30公噸/ 1000㎡	pH及EC儀手動	保利龍成型	60-70	根系活力強，適合熱帶地區	葉菜及果菜

照片一 傳統之礫耕栽種黃秋葵之盛姿

照片二 PE黑色塑膠布內盛椰子纖維之點滴灌溉栽種香茄之設施

照片三 砂栽培系統栽種半結球萵苣（生菜）之盛姿

照片四 鳳山浮根式系統栽種空心菜之盛姿

照片五 日本式岩綿栽培系統種植洋香瓜之盛姿

照片六 荷蘭 Grodan 式岩綿栽培系統種植胡瓜之盛姿

照片七 協和水氣根式系統栽種鴨兒芹之盛姿

照片八 M 式系統栽種鴨兒芹之盛姿

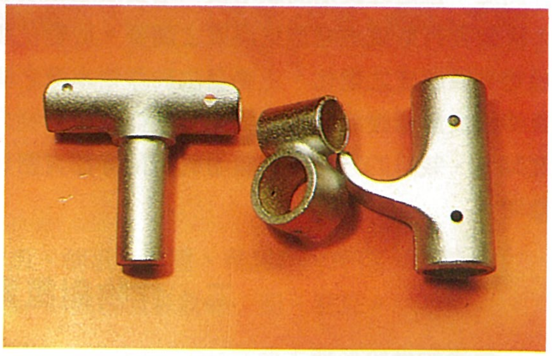
照片九　新和等量交換式系統栽種鴨兒芹之盛姿

照片十　美國 Agri-NFT 系統栽種半結球萵苣之盛姿

照片十一　台中場場動態浮根式系統栽種葉菜類蔬菜之盛姿

照片十二　台中場開發之矮架抗風型水耕網溫室之外貌

照片十三　台中場開發之組合式抗風型架網溫室外貌



照片十四　台中場開發之組合式抗風型矮架網溫室之套件

照片十五　台中場開發之立體式動態浮根式水耕栽培系統

照片十六　升降式水耕系統栽種土白菜之盛姿